

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of

Yutaka HIROSE et al.

Serial No.: New Application

Filed: July 24, 2003

For: CONTACT FORMATION METHOD AND SEMICONDUCTOR DEVICE

CLAIM FOR PRIORITY

Commissioner for Patents  
P. O. Box 1450  
Alexandria, Virginia 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following country is hereby requested for the above-identified application and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

Japanese Patent Appln. No. 2002-216296 filed July 25, 2002

In support of this claim, a certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 U.S.C. 119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,

PARKHURST & WENDEL, L.L.P.



Roger W. Parkhurst  
Registration No. 25,177

July 24, 2003

Date

RWP/ch

Attorney Docket No. YMOR:294

PARKHURST & WENDEL, L.L.P.

1421 Prince Street, Suite 210

Alexandria, Virginia 22314-2805

Telephone: (703) 739-0220

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 7月25日

出願番号

Application Number:

特願2002-216296

[ST.10/C]:

[JP2002-216296]

出願人

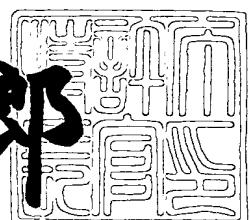
Applicant(s):

松下電器産業株式会社

2003年 4月25日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3030346

【書類名】 特許願

【整理番号】 2925040001

【提出日】 平成14年 7月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 29/43

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 廣瀬 裕

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 井上 薫

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 池田 義人

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100068087

【弁理士】

【氏名又は名称】 森本 義弘

【電話番号】 06-6532-4025

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 010113

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 コンタクト形成方法および半導体装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 III族窒化物半導体層の表面にSiとTiとを含む膜を形成した後に熱処理を施すことを特徴とするコンタクト形成方法。

【請求項2】 膜を形成する際に、SiとTiとをこの順に積層することを特徴とする請求項1記載のコンタクト形成方法。

【請求項3】 热処理の温度を500℃～1100℃の範囲内とすることを特徴とする請求項1記載のコンタクト形成方法。

【請求項4】 III族窒化物半導体層の表面にSiとTiとを含む膜が形成された後に熱処理されてなり、前記Siが不純物として窒化物半導体層内に拡散され、前記TiとSiとの反応で生成したTi<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>を電極膜として有した半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、青紫色の光を放射する半導体レーザ素子等の発光デバイスや高周波パワーデバイスなどに使用される、III族窒化物半導体を用いるコンタクト形成方法および半導体装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

一般式B<sub>z</sub>A<sub>1-x</sub>Ga<sub>1-x-y-z</sub>In<sub>y</sub>N (0≤x≤1, 0≤y≤1, 0≤z≤1)で示されるIII族窒化物半導体は、直接遷移型の広いバンドギャップを有しており、短波長光デバイス用材料としての利用が進んでいる。このIII族窒化物半導体は電子飽和速度が高く、かつ、耐絶縁性が高く、熱伝導率も高いことから、高周波パワーデバイスへの応用も検討されている。

【0003】

III族窒化物半導体を応用した光・電子デバイスにおいて、n型領域に良好なオーム特性を有するコンタクト（以下、オーム・コンタクトという）を

形成する方法が知られている (S.J.Pearson et al., Journal of Applied Physics volume 86 (1999) p.1-p.78、Zhi Fan et al., Applied Physics Letters volume 68 (1996) p.1672-p.1674)。

#### 【0004】

このオーミック・コンタクト形成方法では、たとえば図7(a)に示すように、窒化物半導体31のn型領域32のコンタクト形成領域の表面にTi膜33、Al膜34、Au膜35を積層し、その後に500～700℃の熱処理を施す。

#### 【0005】

図7(b)は熱処理後のコンタクト領域の微視的状況を模式的に示す。熱処理によって、Tiがn型領域32の窒化物半導体31と反応して導電性のTiN部分36を形成し、それに伴って、窒化物半導体31内で窒素空孔37が発生し、窒素を失った窒化物半導体31内のIII族金属が金属部分38を形成する一方で、Ti膜33上のAlが窒化物半導体31内に拡散し、表面近傍にAuを主体とする低抵抗の金属部分39が残る。その結果、窒素空孔37が欠陥準位として電気伝導に寄与するとともに、拡散したAlと、TiN部分36、金属部分38、39が電気伝導に寄与することになり、低抵抗領域40がn型領域32内に形成される。

#### 【0006】

このようにしてオーミック・コンタクトをソース・ドレイン領域に形成した高電子易動度トランジスタ (High Electron Mobility Transistor、以下HEMTという) が知られている。

#### 【0007】

##### 【発明が解決しようとする課題】

ところで、上記したようにして良好なオーミック・コンタクトを形成するためには、金属電極が形成される窒化物半導体の表面近傍が高濃度の不純物でドープされていることが必要である。上記したHEMTの場合、コンタクト形成領域はAlGaN/GaNヘテロ接合構造とされていて、このヘテロ接合の界面付近に形成される高濃度・高移動度の二次元電子ガスがソース・ドレイン間に与えられる外部電界により加速されることで、HEMTの高速動作が可能になる。この高

速動作を可能とするためには、上記した Ti 膜 33、Al 膜 34、Au 膜 35 を最上層の AlGaN 層 (n 型領域 32 の窒化物半導体 31) の上に直接積層し、Ti 膜 33 上の Al を、AlGaN 層内でヘテロ界面の二次元電子ガスに到達するまで十分に拡散させることが必要である。このために必要な不純物は通常、結晶成長中に供給されている。

## 【0008】

しかしながら、デバイスの構造上あるいは機能上の制約から、必要十分量の不純物を結晶成長中に導入できない場合がある。たとえば HEMT では、最上層の AlGaN 層がヘテロ界面の二次元電子ガスの濃度とヘテロ界面の電位を規定するため、ゲート直下での不純物濃度の分布、最大許容値は一般に、ソース・ドレイン領域でオーミック特性を得るために必要な不純物濃度に達しない。このため軽元素の Al を拡散種として用いているのであるが、この Al と AlGaN との反応速度、および Al の AlGaN 内での拡散速度の制御が困難であって、反応が速い場合に絶縁性の AlN 層が生成されてしまい、コンタクト抵抗が高くなるという問題がある。

## 【0009】

本発明は上記問題を解決するもので、十分量の不純物を導入して良好なオーミック特性を得ることができるコンタクト形成方法および半導体装置を提供することを目的とする。

## 【0010】

## 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明のコンタクト形成方法は、III 族窒化物半導体層の表面に Si と Ti とを含む膜を形成した後に熱処理を施すことを特徴とする。これによれば、III 族窒化物半導体の近傍の Si が半導体内に n 型不純物として十分量にて拡散され、熱処理により活性化されるとともに、熱処理によって Ti とその近傍の Si とが反応して低抵抗の  $Ti_2Si_2$  を生成し、この  $Ti_2Si_2$  を主体とする低抵抗の電極膜が形成される。Si と Ti はすべて消費されるので、余剰の Si や Ti を除去する工程は不要である。

## 【0011】

好ましくは、膜を形成する際に、SiとTiとをこの順に積層する。また好ましくは、熱処理の温度を500℃～1100℃の範囲内とすることを特徴とする。このような膜積層順序、熱処理温度とすることにより、低抵抗のTiSi<sub>2</sub>-C54相を容易に生成できるとともに、Siを十分に速い速度でIII族窒化物半導体内に拡散させることができる。

## 【0012】

本発明の半導体装置は、III族窒化物半導体層の表面にSiとTiとを含む膜が形成された後に熱処理されてなり、前記Siが不純物として窒化物半導体層内に拡散され、前記TiとSiとの反応で生成したTiSi<sub>2</sub>を電極膜として有したことの特徴とするもので、低いコンタクト抵抗、良好なオーミック特性を持ったものとなる。

## 【0013】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。

## (実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1における半導体装置であって、AlGaN/GaNヘテロ接合を有する高電子易動度トランジスタ(HEMT)を構成している半導体装置の断面図である。

## 【0014】

図1において、1は基板、2は真性GaN層、3はGaN層2とヘテロ接合を形成するAlGaN層であり、このAlGaN層3/GaN層2のヘテロ界面に二次元電子ガスが形成される。基板1はサファイア、SiC、LiAlO<sub>2</sub>、LiGaO<sub>2</sub>などから選択される。

## 【0015】

4はゲート電極、5はソース、6はドレイン、7はソース電極、8はドレイン電極であり、ソース電極7、ドレイン電極8はこのトランジスタを外部に接続するためには用いられ、ゲート電極4はソース5からドレイン6に流れる電流量を制御する。

## 【0016】

上記した半導体装置を製造する際のソース・ドレインコンタクトの形成方法を説明する。

図2 (a) に示すように、オーミック・コンタクトを形成しようとするAlGaN層3上の領域（以下、コンタクト形成領域）に選択的に、Si薄膜9とTi薄膜10とをこの順に積層する。次に、これらの膜9, 10を備えた基板1を100%窒素雰囲気中、約970℃の高温で約5分アニールする。

#### 【0017】

図2 (b) は、この高温熱処理後のコンタクト形成領域11（図1のソース5、ドレイン6の領域に相応する）の微視的な状態を模式的に示す。

高温熱処理によって、Si薄膜9を構成しているSi（以下、単にSiと記す）が、AlGaN層3（以下、単にAlGaNと記す）内にn型不純物として拡散され、コンタクト形成領域11内でSi濃度 $\sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ レベルになって、Ti薄膜10を構成しているTi（以下、単にTiと記す）と反応してオーミック特性を得るために十分に高い電子濃度となり、Ti薄膜10の近傍のSiとTiとの反応で低抵抗のTi<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>部分12を生成する。また、TiがAlGaNと反応して導電性のTiN部分13を生成し、それに伴って窒素空孔14が発生するとともに、窒素を失ったGaとAlとがIII族金属部分15を形成する。

#### 【0018】

その結果、窒素空孔14が欠陥準位として電気伝導に寄与するとともに、Ti<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>部分12, TiN部分13, III族金属部分15が電気伝導に寄与することになり、コンタクト形成領域11は良好な低抵抗オーミック特性を有することになる。

#### 【0019】

また、Siを不純物として拡散させているため、AlGaNとの反応は起こらず、従来の拡散種としてのAl等の軽金属では発生していた絶縁物を回避することができ、従来よりも低抵抗のオーミック・コンタクトを実現できる。

#### 【0020】

なお、余剰SiがAlGaN層3内に拡散することを保証するためには、Si薄膜9の厚さを十分に厚く取る必要がある。たとえばSi薄膜9の厚さを300

0 Å、Ti薄膜10の厚さを3000 Åにすることにより、AlGaN層3とSi薄膜9との界面付近のSiをTi薄膜10との反応が始まる前にAlGaN層3内に拡散させることができる。

## 【0021】

積層されたSi薄膜9とTi薄膜10はすべて、 $TiSi_2$ 部分12、 $TiN$ 部分13となることで、また拡散されることで、消費されるため、余剰のSiやTiを除去する工程は不要である。

## 【0022】

このようにして、実施の形態1の方法により、低抵抗で良好なオーミック特性を有するソース・ドレインコンタクトを、従来の方法と同等の工程数で形成できる。

## 【0023】

図3(a)は実施の形態1の方法によってソース・ドレインコンタクトを形成したHEMTのI-V特性を示し、図3(b)は従来の方法によってソース・ドレインコンタクトを形成したHEMTのI-V特性を示す。

## 【0024】

図3(a)(b)から明らかなように、実施の形態1のHEMTは従来のHEMTに比べて、同じゲート電圧で、線形領域においてより低い抵抗を示し、飽和領域においてより高いドレイン電流を示しており、より良好な出力特性が得られている。

## (実施の形態2)

図4は、本発明の実施の形態2における半導体装置であって、AlGaN/GaNヘテロ接合を有する高電子易動度トランジスタ(HEMT)を構成している半導体装置の断面図である。

## 【0025】

図4において、1は基板、2は真性GaN層、2aはSiでドープされたGaN層、3は前記ドープされたGaN層2aとヘテロ接合を形成するAlGaN層であり、二次元電子ガスはAlGaN層3/GaN層2aのヘテロ界面近傍のGaN層2a内に形成される。基板1はサファイア、SiC、LiAlO<sub>2</sub>、Li

$\text{GaO}_2$ などから選択される。一般に、ドープされたチャネル層を有するHEMTは、ドープされていないチャネル層によるHEMT（例えば実施の形態1に示したHEMT）よりも最大電流が高く、より高いパワーが得られる。

【0026】

4はゲート電極、5はソース、6はドレイン、7はソース電極、8はドレイン電極であり、ソース電極7、ドレイン電極8はこのトランジスタを外部に接続するため用いられ、ゲート電極4はソース5からドレイン6に流れる電流を制御する。

【0027】

上記した半導体装置を製造する際のソース・ドレインコンタクトの形成方法を説明する。

図5に示すように、オーミック・コンタクトを形成しようとするAlGaN層3上の領域（コンタクト形成領域）に選択的に、Si薄膜9とTi薄膜10とを同時に堆積する。このことにより、AlGaN層3の表面にSi薄膜9とTi薄膜10の双方が接触する。次に、これらの膜9、10を備えた基板1を100%窒素雰囲気中、約1000°Cの高温で約5分アニールする。

【0028】

この高温熱処理により、コンタクト形成領域（図4のソース5、ドレイン6の領域）内に上記した実施の形態1と同様の構造が形成され（図2（b）参照）、コンタクト形成領域は良好な低抵抗オーミック特性を有することになる。

【0029】

堆積されたSi薄膜9とTi薄膜10はすべて消費されて、 $\text{TiSi}_2$ 部分、 $\text{TiN}$ 部分となり、また拡散されるため、余剰のSiやTiを除去する工程は不要である。

【0030】

このようにして、実施の形態2の方法により、低抵抗で良好なオーミック特性を有するソース・ドレインコンタクトを、従来の方法と同等の工程数で形成できる。

【0031】

図6(a)は実施の形態2の方法によってソース、ドレイン・コンタクトを形成したドープトチャネルを有するHEMTのI-V特性を示し、図6(b)は従来の方法によってソース、ドレインコンタクトを形成したドープトチャネルを有するHEMTのI-V特性を示す。

【0032】

図6(a)(b)から明らかなように、実施の形態2のHEMTは従来のHEMTに比べて、同じゲート電圧で、線形領域においてより低い抵抗を示し、飽和領域においてより高いドレイン電流を示しており、より良好な出力特性が得られている。

【0033】

なお、Si薄膜9とTi薄膜10とを実施の形態1と同様に積層することも可能である。

【0034】

【発明の効果】

以上のように本発明によれば、表面の不純物濃度がオーミックコンタクトを形成するのに十分なほどには高くない窒化物半導体に、SiとTiとを含む膜を形成したのち熱処理を施すことにより、従来の方法と比べて工程数を増加することなく、良好なオーミックコンタクトを形成することができる。またそのコンタクト形成時に前記Siを不純物として拡散させるので、従来拡散種として用いていたAl等の軽金属に起因する絶縁物の発生を回避することができ、従来よりも低抵抗のオーミック・コンタクトが実現可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施の形態1における半導体装置の断面図

【図2】

図1の半導体装置のコンタクト形成工程を示す断面図

【図3】

図2の方法および従来の方法でそれぞれコンタクト形成した半導体装置のI-V特性図

【図4】

本発明の実施の形態2における半導体装置の断面図

【図5】

図4の半導体装置のコンタクト形成工程を示す断面図

【図6】

図5の方法および従来の方法でそれぞれコンタクト形成した半導体装置のI-V特性図

【図7】

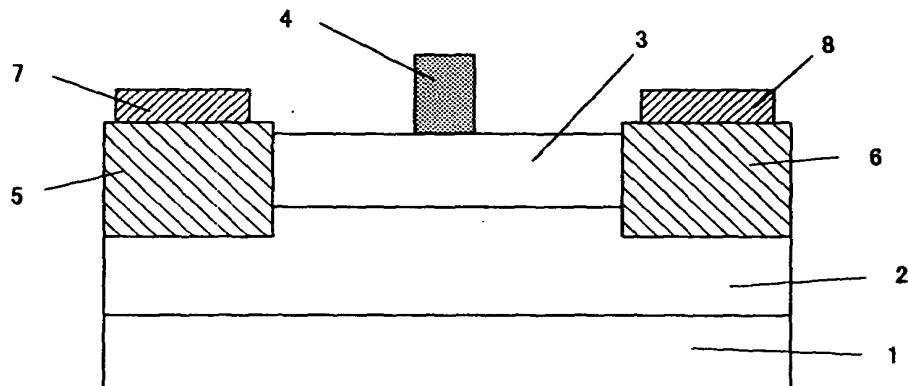
従来の半導体装置のコンタクト形成工程を示す断面図

【符号の説明】

- 1 基板
- 2 G a N層
- 2a ドープされたG a N層
- 3 A l G a N層
- 4 ゲート電極
- 5 ソース
- 6 ドレイン
- 7 ソース電極
- 8 ドレイン電極
- 9 S i 薄膜
- 10 T i 薄膜
- 11 コンタクト形成領域
- 12 T i S i <sub>2</sub>部分
- 13 T i N部分
- 14 窒素空孔
- 15 III族金属部分

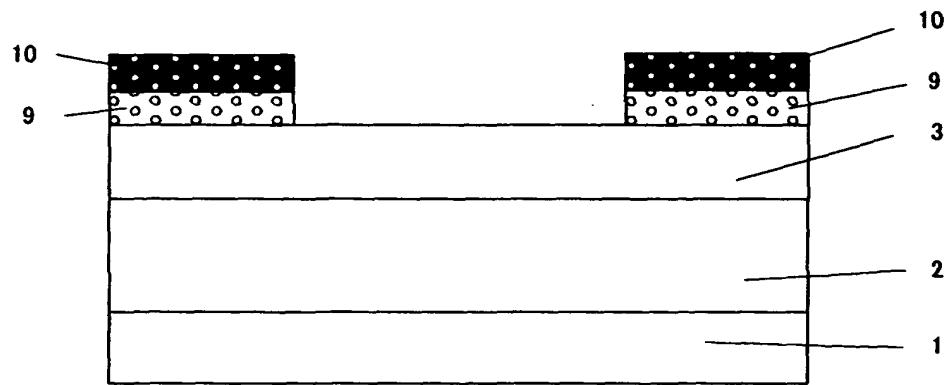
【書類名】 図面

【図1】

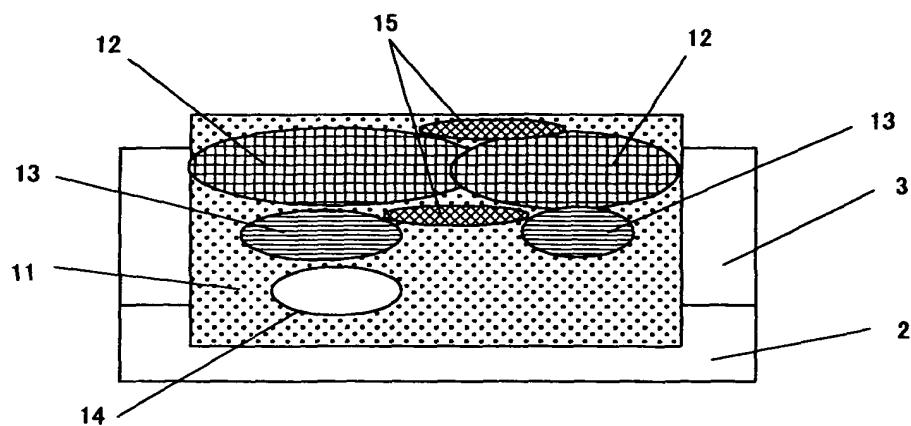


【図2】

(a)

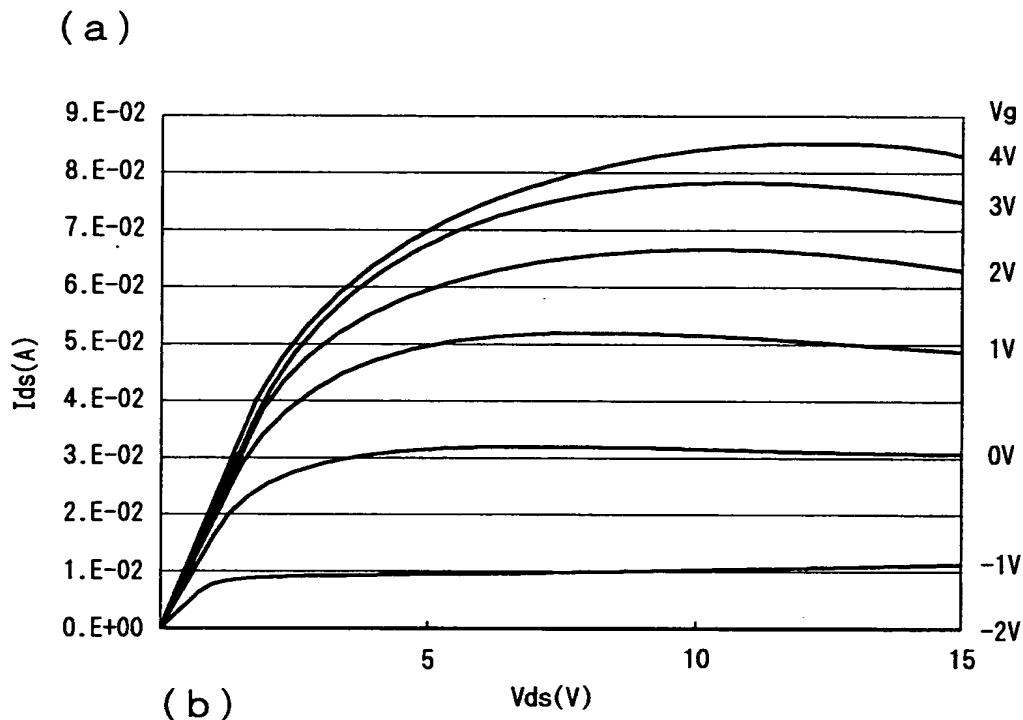


(b)

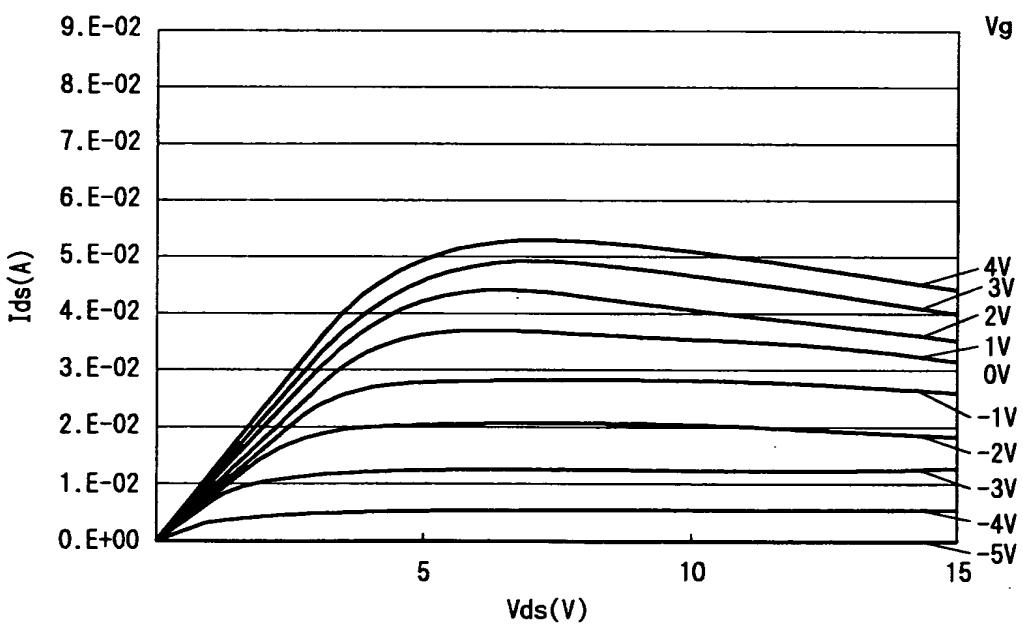


1	基板	11	コンタクト形成領域
2	GaN層	12	TiSi <sub>2</sub> 部分
3	AlGaN層	13	TiN部分
9	Si薄膜	14	窒素空孔
10	Ti薄膜	15	III族金属部分

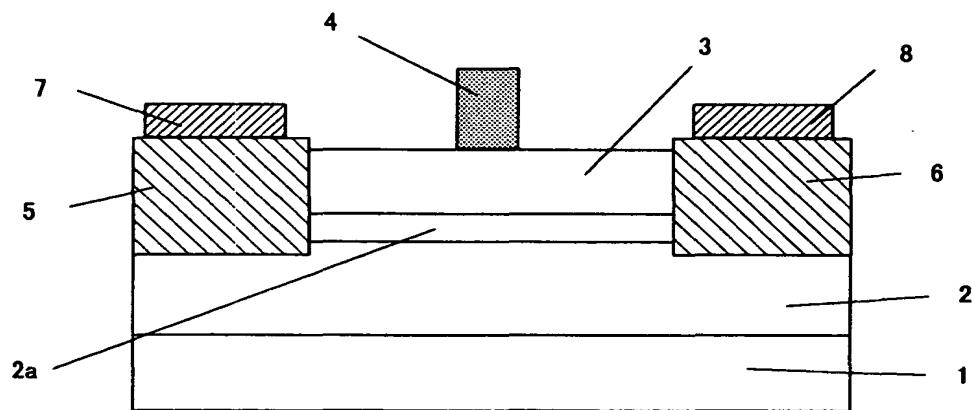
【図3】



( b )

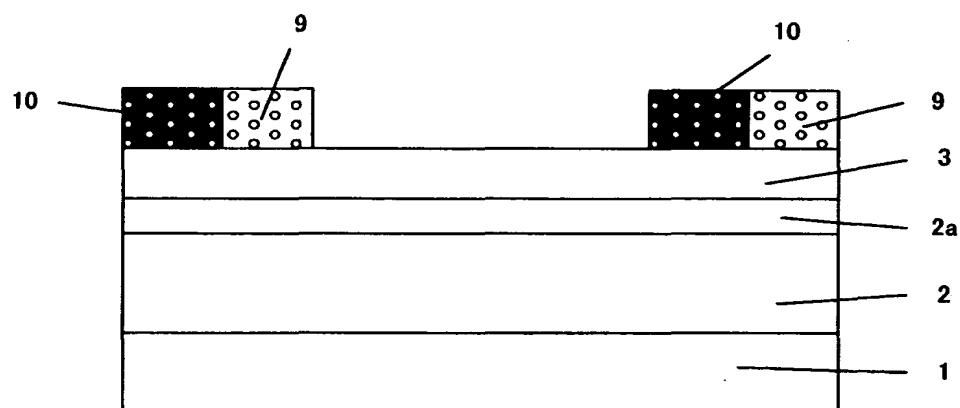


【図4】



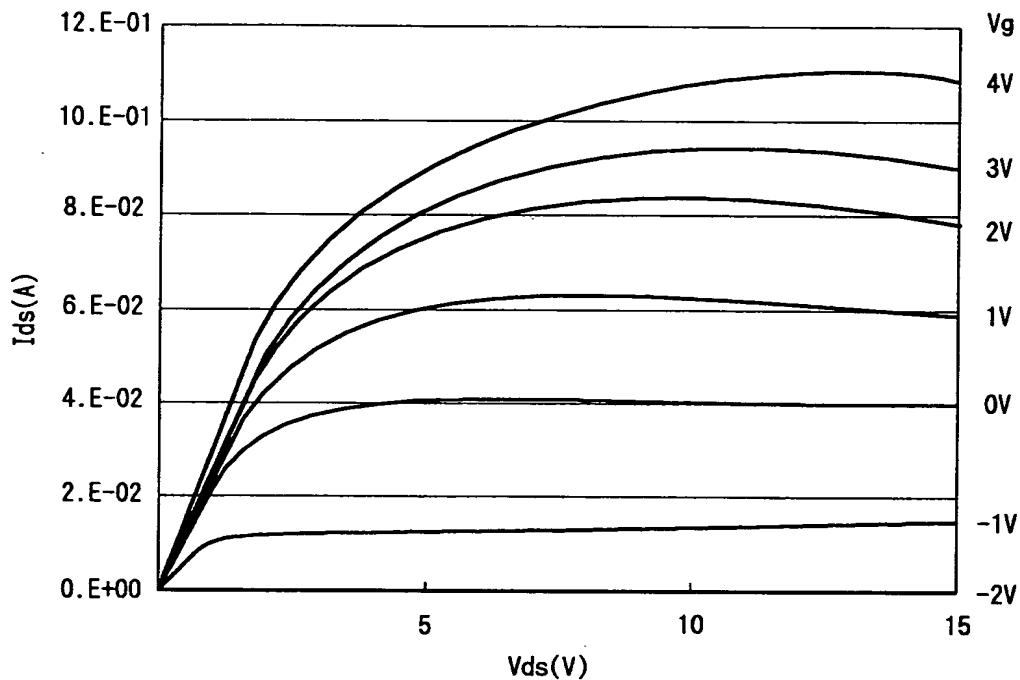
2a ドープされたGaN層

【図5】

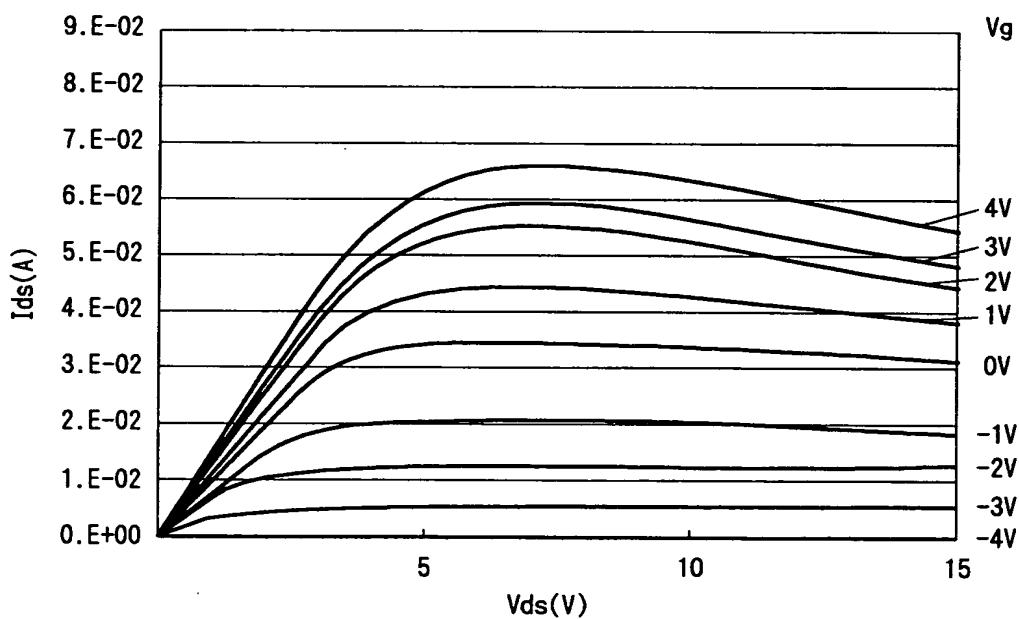


【図6】

(a)



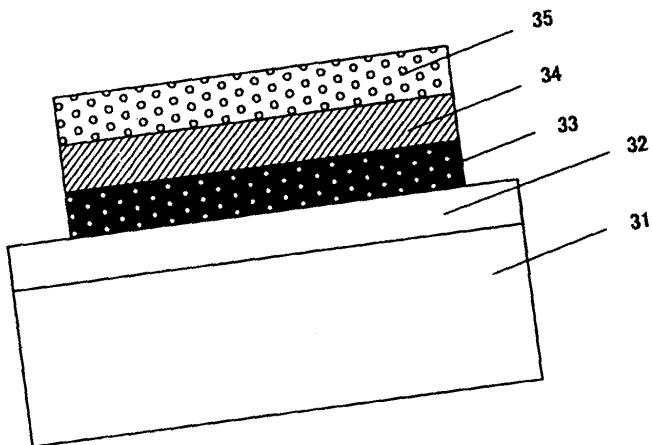
(b)



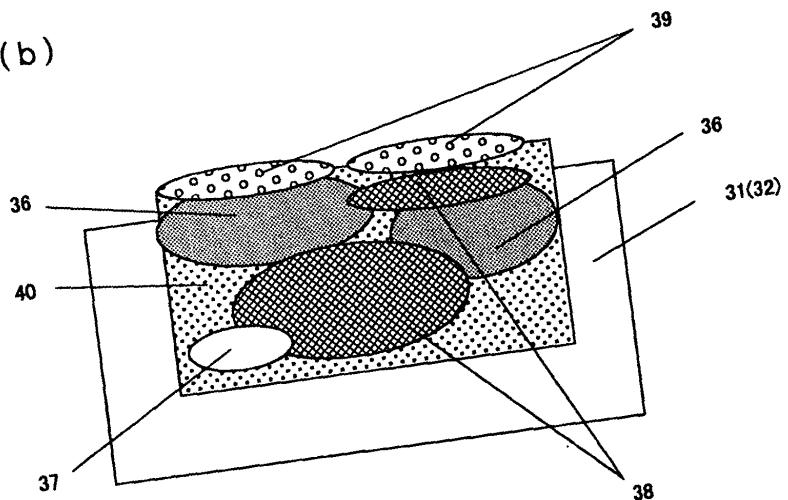
特2002-216296

【図7】

(a)



(b)



出証特2003-3030346

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 III 族窒化物半導体の電極の低抵抗化を図る。

【解決手段】 基板1上のIII 族窒化物半導体層としてのAlGaN層3のオームック・コンタクト形成領域11の表面に選択的にSi薄膜9とTi薄膜10とを積層し、この基板1を高温で熱処理する。それにより、AlGaN層3のオームック・コンタクト形成領域11内で、Siが拡散されて濃度 $\sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ レベルとなり、Tiと反応してオームック特性を得るために十分に高い電子濃度となる。またコンタクト形成領域11内で、前記SiとTiとの反応によるTiSi<sub>2</sub>部分12、TiとAlGaNとの反応によるTiN部分13および窒素空孔14、窒素を失ったGaとAlのIII 金属部分が発生して、TiSi<sub>2</sub>を主体とする低抵抗の電極膜が形成される。

【選択図】 図2

出願人履歴情報

識別番号 [000005821]

1. 変更年月日 1990年 8月28日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府門真市大字門真1006番地  
氏 名 松下電器産業株式会社